

2025년 유엔 세계물개발보고서

거대한 물 저장고, 산과 빙하

요약보고서



2022년 유엔 총회에서 고산지대의 지속 가능한 개발에 대한 결의안을 채택한 데 이어, 2025년을 국제 빙하 보전의 해로 지정하였다. 이에 따라, 본 보고서는 기후변화에 따라 급변하는 산악빙권(mountain cryosphere, 빙권 혹은 빙하 산지)이라는 맥락에서, 산악지대의 지속 가능한 발전과 이에 의존하는 하류의 지역 사회를 위해 고산(alpine) 빙하를 포함한 고산지대의 수자원 중요성에 대한 전 세계적인 관심을 촉구하고자 한다.

전 세계 수자원 현황

2021년 기준, 전 세계 수자원 취수(사용) 추정치에 따르면, 농업용수가 담수 이용의 가장 큰 비중을 차지했고(72%), 산업용수(15%) 및 생활(또는 도시)용수(13%)의 사용량이 그 뒤를 잇는다. 부문별 담수 사용량은 해당 국가의 경제발전 수준에 따라 크게 달라진다. 고소득 국가는 산업 부문에 더 많은 물을 사용하는 반면, 저소득 국가는 물의 약 90% 이상을 농업 관개용수로 사용한다.

2000년부터 2021년까지 전 세계 담수 취수량은 14% 증가하여 연평균 0.7%의 증가율을 보였다. 이러한 취수 증가 패턴은 급속한 경제발전을 이루고 있는 도시와 국가, 혹은 대륙의 일부 권역에서 주로 나타났다. 하지만, 단순히 인구 증가가 물 수요 증가에 결정적인 영향을 미치는 요인은 아닌 것으로 보인다. 사하라 이남 아프리카의 몇몇 국가들에서는 1인당 물 사용량이 지극히 낮은데도, 오히려 인구 증가율은 매우 높은 경우가 많았다.

전 세계 인구의 4분의 1이 거주하는 25개국의 가정에서는 매년 '엄청나게 극심한' 수준의 물 스트레스에 직면해 있으며, 전 세계 인구의 절반에 해당하는 약 40억 명의 사람들이 적어도 매년 일정 기간에 심각한 물 부족을 겪고 있다.

기후변화는 대륙 내 일부 권역에서 물 이용에 대한 계절적 변동성과 불확실성을 증가시키는 요인으로 작용하고 있다. 오염, 토지와 생태계 훼손, 그리고 자연재해는 수자원 이용성에 추가적인 위협요인이 될 수 있다.

SDG 6 이행에 대한 진행 상황

지속가능발전목표(SDG) 6은 "모두를 위한 물과 위생의 이용가능성과 지속 가능한 관리를 보장"하는 것을 목표로 한다.

지속가능발전목표(SDG) 6의 세부 목표(target)에 대한 현재 진행 상황은 원래의 계획과 어긋나 있으며, 일부는 심각한 수준이다.

그 예로, 2022년에는 약 22억 명(전 세계 인구의 27%) 정도가 안전하게 관리된 식수를 이용하지 못했으며, 농촌 지역에 거주하는 5명 중 4명은 기본적인 식수조차 이용하지 못하는 실정이다.

•••
**‘지구의 물 기둥
(Water Tower)’
으로서
산악 지역은
필수적인
담수 공급원이다**

위생과 관련된 상황은 더욱 심각하다. 2022년 기준, 전 세계 35억 명의 사람들이 여전히 안전하게 관리된 위생 시설을 이용하지 못하고 있는데, 특히 라틴 아메리카와 카리브해, 중앙 및 남아시아에서는 인구의 절반 정도만이 안전한 시설을 이용할 수 있었고, 더욱이 사하라 이남 아프리카의 시설 이용률은 단지 24% 정도에 불과했다.

미비한 모니터링 수준과 조사 데이터 간의 격차(불일치성)는 수자원 관리, 수질, 물 관련 생태계 및 제반 환경을 포함하고 있는 SDG 6 내 서로 다른 세부목표 간의 정확한 평가를 방해하는 요인으로 작용하고 있다.

산악 지역

‘지구의 물 기둥(Water Tower)’으로서 산악 지역은 필수적인 담수 공급원이며, 물 공급과 위생과 같은 기본적인 인간의 욕구를 충족하는데 핵심적인 역할을 한다. 산악 지역의 물은 상류 산지 주변뿐만 아니라, 하류 지역에 거주하는 수십억 명의 사람들의 식량 및 에너지 안보를 보장하는데에도 매우 중요하다.

산악 지역의 주요 경제 활동은 농업, 목축업, 임업 뿐만 아니라 관광 산업, 광업, 국경 간 무역 및 에너지 생산에 이르기까지 다양하다. 산악 지역에서는 값비싼 약용식물, 목재 및 기타 임산물, 그리고 고품질 농축산물 등이 생산되기도 한다. 이러한 작물들은 전 세계 식물 유전자 풀(pool)의 상당 부분을 차지하고 있기 때문에, 산악 지역은 생물다양성 관점에서 전 지구적 관심 지역(global hotspot)이다.

산이라는 곳은 넓고 다양한 범위에서 생태학적 구역들을 특징적으로 나타낸다. 또한 생태학적 구역들은 고도, 지형, 고립 상태 그리고 국소적 기후 조건(microclimate, 예: 일조량)과 같은 특정 요인이 결합하여 나타난 특징들에 따라 구분될 수 있다. 이러한 이유로, 산악 지역에서는 저지대에서보다 더 높은 수준의 고유종(endemic species) 다양성이 나타나며, 그곳에 거주하는 인류의 문화 역시 매우 다양하다.

빙하와 산악빙권

지구상에서 산악빙권(mountain cryosphere)은 기후변화에 가장 민감하게 반응하는 곳 중의 하나이다. 산악 지역에서는 일반적으로 강수량이 많고 증발량이 적기 때문에 저지대에 비해서 단위 면적당 더 많은 지표 유출수가 발생한다. 비록 매우 오랜 시간이 걸리긴 하지만 고산빙하(alpine glaciers) 역시 물을 저장하고 방출한다. 또한, 많은 고산 지대에서는 계절적으로 내리는 눈이 담수 저장량의 대부분을 차지한다.

산악 지역의 빙하를 포함하여 전 세계 대부분의 빙하가 점점 더 빠른 속도로 녹고 있다. 빙권을 가지고 있는 대부분의 하천유역에서는 융설수(snow-melt, 융설)가 유량의 상당 부분을 차지하며, 빙하로부터의 융빙수(glacier-melt, 빙하 융해수)보다 그 양이 훨씬 많은 경우가 흔하다.

• • •

지구 온난화는
빙하가 녹는 속도를
가속화하고,
쌓이는 눈의 양을
감소시키며,
폭우와 자연재해를
초래하고 있다

지구 온난화는 빙하가 녹는 속도를 가속화하고, 쌓이는 눈의 양을 감소시키며, 영구 동토층의 해빙을 증가시키고, 폭우와 자연재해를 초래하고 있다. 산에서 흘러나오는 물의 흐름은 점차 더 불규칙해지고, 불확실성과 변동성이 커질 것이다. 우기와 건기의 시기 및 유량 변화, 침식과 퇴적물 증가 현상은 하류 지역의 수자원에 양적, 시기적, 그리고 수질 측면에서 영향을 미칠 것이다.

먼지나 블랙 카본(black carbon)을 포함한 연소에 따른 잿가루, 눈이나 빙하의 표면에서 발생하기도 하는 미생물 또는 녹조의 창궐 등 특이한 현상들이 황사, 대기오염, 산불 발생 등의 빈도와 강도 증가로 인하여 점점 일반적인 현상들로 변하고 있다. 이러한 현상은 다음 눈이 내릴 때까지 표면 반사율(surface albedo)을 감소시켜 빙하와 눈이 녹는 속도를 가속화한다.

이상 고온, 빙하 감소, 영구 동토층 해빙, 그리고 변화하는 강수 패턴 등 기후변화의 결과는 홍수와 산사태로 인한 위험에 영향을 미칠 수 있다. 토석류(debris flow), 홍수, 눈사태, 암석 및 빙하 붕괴, 폐색호 범람, 그리고 빙하호 범람(GLOFs, Glacial Lake Outburst Floods, 빙하 홍수/쓰나미)과 같은 현상은 지역사회, 야생동물, 그리고 사회기반시설에 심각한 위협이 될 수 있다.

식량과 농업

농업과 목축업은 산악 지역의 주민들에게 필수적인 생계 수단이다. 개발도상국의 산악 지역에 거주하는 두 명 중 한 명은 식량 확보에 어려움을 겪고 있다. 토지 황폐화(토질 악화로 이어짐)나 물 공급에 대한 큰 계절적 편차뿐만 아니라, 지리적 고립에 따른 열악한 접근성이 산악 지역에서의 농업에 상당한 어려움을 복합적으로 초래한다.

산악 지역사회에서는 다양한 희귀 곡물과 약용식물을 다수 보존하고 있으며, 지속 가능한 생태계 유지에 기여하는 곡식 재배, 가축 생산 및 물 확보에 필요한 전통 지식과 기술을 발전시켜 왔다.

산악 지역의 원주민들은 지속 가능한 식량 시스템, 토지 관리 및 생물다양성 보전에 필요한 그들만의 독특하고 유익한 전통 지식(local knowledge)과 문화적 관습을 보유하고 있다. 계단식 농업은 지역의 경사 조건에 맞춰 조성될 수 있으며, 지표수 유출 감소, 물 절약, 토양 침식 감소, 경사면 안정화, 서식지 및 생물다양성 생산 증진, 문화유산 보존 등의 수많은 이점들이 있다.

산악 지역의 기후변화에 대응하는 방식은 목표와 우선순위, 이행 속도, 거버넌스와 의사 결정 방식, 이를 실행하기 위한 재정 및 기타 자원의 규모 등에서 상당한 차이를 보인다. 적응(adaptation) 대책에는 일반적으로 농업 방식의 변화, 물 저장 인프라 개발, 원주민들의 전통 지식 활용, 지역사회 기반의 역량 강화, 생태계 기반의 적응전략(EbA, Ecosystem-based Adaptation) 등이 포함된다.

인간 정주(定住)와 재해 위험의 감소

약 11억 명에 달하는 인구가 산악 지역에 살고 있으며, 이 중 3분의 2는 도시와 마을에 거주하고 있다. 산악 지역은 고립된 지리적 환경과 험준한 지형, 그리고 자연재해에 취약하다는 특성으로 인해 교통, 인프라, 물품, 그리고 서비스 이용에 높은 비용을 감수해야 한다. 특히, 상수도, 위생 시설, 배수 시설과 같은 필수적인 물 관련 인프라의 구축과 유지 관리에 어려움을 겪고 있다.

• • •

산악 지역에서는
고립된 지리적
환경과 험준한 지형,
그리고 자연재해에
취약하다는 특성으로
인해 교통, 인프라, 물품,
그리고 서비스 이용에
있어 높은 비용을
감수해야 한다

산악 지역에서 무계획하게 급히 진행된 도시개발은 수질뿐만 아니라 물 이용성 및 안전성에 영향을 미치기 때문에, 취약한 산악 생태계에 부담을 가중시킨다. 또한, 분산형 물·위생 시스템은 잦은 산사태가 발생하는 험준한 지형에서 인프라가 손상될 위험을 줄일 수 있기 때문에 산악 지역에서 특히 효과적일 수 있다.

산사태, 지진, 홍수, 빙하호 범람(GLOFs) 및 눈사태 같은 자연재해는 물 공급 및 위생 인프라를 손상시키고, 식수, 위생 및 보건 증진(WASH; water, sanitation and hygiene) 서비스 제공에 대한 접근성을 떨어뜨릴 수 있다. 따라서, 각종 위험에 노출되어 있고, 소외된 산악 지역 주민들의 경우, 이러한 재해로 인해 농업, 관광, 생물다양성과 같은 주요 소득원이 불안정하게 되어 생계가 위협받을 수 있다.

산악 지역의 기후변화에 대한 적응 대책의 사례는

- (1) 비상 홍수 저류지 및 우회 수로 건설과 빙하호의 조절방류에 대한 타당성 조사,
- (2) 하천 유역 최적관리 계획 수립,
- (3) 시간에 따른 빙하의 변화 양상 모니터링,
- (4) 빙하 하천 유역의 빙하호 범람 위험 저감 및 조기 경보 시스템 구축 등이 있다.

산업과 에너지

물을 포함한 일반자원이 비교적 풍부한 산악 지역에서는 물에 대한 의존도가 높은 산업들이 발달했다. 산업 및 에너지 생산과는 별도로, 산악 지역에서는 광물 가공, 목재 생산, 관광 산업의 경우 물이 많이 필요하기 때문이다.

수력 발전은 산악 지역의 주요 산업 중 하나로 경사면과 계곡의 지형적 특성을 활용하여 대규모 댐과 저수지를 건설하지 않고도 수력 발전을 할 수 있다. 하지만, 취약성이 높은 산악 생태계에서 댐, 저수지, 송전선, 변전소 등을 건설하여 운영하는 것은 상당한 부작용을 초래할 수 있다.

물 이용성 외에도 산업과 에너지 분야에서 큰 어려움 중의 하나는 높은 고도(elevation) 때문에 발생하는 운영에 관한 문제이다. 높은 고도에서는 막대한 투자와 운영비용을 수반하기 때문에 투자금에 대한 회수율이 높은 사업만이 시행될 수 있다.

산업 및 에너지 개발은 수질에 영향을 미칠 수 있다. 특히 외딴 산악 지역은 규제에 어려움이 있기 때문에, 오염 물질이 포함된 물이 무분별하게 취수되거나 방류될 수 있다.

산악 지역의 산업 및 에너지 생산에 대한 지속가능성을 높이기 위한 대응책이 마련되어 있거나 현재 개발되고 있다. 순환 경제(circular economy)라는 개념은 물 이용 저감, 물 순환 및 재이용을 장려한다.

친환경 기술이라 함은 저공해 기술 사용, 자원 관리 개선, 효율적인 폐기물 재활용 등의 실천 방안들을 포함하는 것을 의미한다. 기존의 그레이 인프라(grey infrastructure, 전통적 사회기반 시설)를 그린 인프라(green infrastructure)로 탈바꿈하는 것은 상대적으로 산악 지역에서 더욱 효과적일 수 있다.

환경

산악 및 고원 생태계는 산지 주민뿐만 아니라 상·하류로 연결된 저지대 지역의 수십억 명에게 필수적인 생태계 서비스를 제공한다. 특히, 자연적인 물 조절 기능(물 저장 및 홍수 조절 등)은 가장 중요한 생태계 서비스 중 하나이다.

•••
산업 및 에너지
생산과는 별도로,
산악 지역에서는
광물 가공, 목재 생산,
관광산업의 경우
물이 많이 필요하다

기타 핵심 생태계 서비스로는 침식 및 산사태 위험 완화, 국지적 온도 저감, 탄소 저장(carbon sequestration) 증대, 식량 및 섬유 공급 등이 있으며, 환경에 적합한 곡물들과 가축들의 유전자들을 잘 유지되도록 하는 기능들이 있다.

산악 지역 면적의 약 40%를 차지하는 숲은 가파른 경사면을 안정화하고, 지하수 흐름을 조절하며, 지표수 유출(surface runoff)과 토양 침식을 감소시켜 산사태와 홍수를 예방하는 등 자연재해로부터 중요한 보호 기능을 수행한다. 반면, 지속 가능하지 않은 산림 육성은 토양 침식을 악화시키고 토양의 물 투수율을 감소시킨다.

산악 토양은 척박한 기후 조건에서 형성되며, 저지대 토양과는 현저한 차이를 보이는데, 이는 토양이 얇고 침식에 좀 더 취약하기 때문이다. 이러한 토양은 식생이 사라짐에 따라 지표면이 그대로 노출되는 것과 마찬가지로 다양한 인간 활동에 의해 쉽게 황폐해진다. 따라서, 고도가 높은 곳에서는 훼손된 토양과 생태계의 회복이 더디다.

빙권과 고산 생태계의 변화에 대응하기 위한 생태계 차원의 노력은 대개 자연기반해법(NbS, Nature-based Solutions) 또는 생태계기반적응(EbA, Ecosystem-based Adaptation)을 통해 지역 생태계의 유지 및 복원에 초점을 맞추고 있으며, 궁극적으로 지역사회에 제공되는 생태계 서비스의 질을 향상시키는 것을 목표로 한다. 이러한 접근 방식은 이제 전 세계 많은 산지 국가에서 국가온실가스감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution)의 주요 적응전략으로 채택하고 있다.

지역적 관점

사하라 이남 아프리카 지역

아프리카 대륙 육지 면적의 20%는 해발 1,000미터가 넘는 산지이며, 그중 5%는 1,500미터 이상에 이른다. 동아프리카는 아프리카에서 산악 지형이 가장 발달한 지역이다. 해당 산악 지역은 풍부한 생물다양성을 특징으로 하며, 수자원을 포함한 다양한 생태계 서비스를 수백만 명에게 제공한다. 특히 열대 및 아열대 기후 지역인 사하라 이남 아프리카에서 산지는 주변의 건조한 저지대와 비교하여 상대적으로 유리한 환경 조건과 풍부한 자원을 보유하고 있다.

산악 지역과 그 하류 저지대의 농업 생산과 식량 안보는 산악 지역의 수자원에 절대적으로 의존한다. 산악 생태계의 훼손은 하류 지역의 물 저장 및 공급 능력을 약화시키며, 특히 중요한 역할을 하는 산림 훼손이 대표적인 예이다.

사하라 이남 아프리카 산악 지역에서 농업이 주요 생계 수단임을 고려할 때, 토지 황폐화 방지를 위한 경작 기술의 개선은 매우 중요한 부분이다. 생태계기반적응(EbA, 예: 토양 침식을 완화시키는 산림 재조성 및 보전)은 토양 수분 함양을 개선시키고 지하수 함양(aquifer recharge)을 촉진하여 자연재해 위험을 경감할 수 있다.

이 지역의 산악지대에서는 인구 증가율과 인구 밀도가 모두 높다. 하지만, 빈곤이 만연해 있으며, 대안이 될 수 있거나 피해를 입더라도 회복탄력성이 높은 생계 수단은 부족한 실정이다. 실제로 많은 지역에서 산악지대는 저지대보다 훨씬 조밀한 인구 분포를 나타낸다.

유럽 및 중앙아시아

유럽과 중앙아시아에 있는 많은 강의 수자원은 산맥에서 발원한다. 산악지대의 눈(alpine snow)과 빙하의 용융현상은 하류로 물을 천천히 공급하게 한다. 하지만, 기후변화로 인해 눈이 녹는 시기가 앞당겨지고 빙하의 면적이 줄어들면서 여름철 물 이용에 차질이 생기고, 이는 하류 유역 주민들에게 심각한 결과를 초래한다.

알프스는 유럽 여러 국가의 핵심적인 물 공급원이다. 물을 끌어다 쓰는 주된 이유는 수력 발전이며, 그 외에 산업용수, 농업 관개용수, 그리고 인공 눈 제설(製雪, snow-making) 등에 사용된다.

카르파티아 산맥(Carpathian Mountains)은 유럽 식물종 약 30%의 자생지이다. 산악 목축지와 같은 준 자연 서식지(semi-natural habitats)는 생태적으로나 문화적으로도 그 중요성이 매우 높다.

중앙아시아 산악 지역의 경우, 상류에 위치한 국가들은 겨울철 에너지 부족 문제로 수력 발전 확대를 원하는 반면, 하류에 위치한 국가들은 여름철 농업 생산을 위해 산에서 기원한 물에 크게 의존하고 있다. 이러한 상반된 계절적 그리고 지리적 수요 차이는 유역 주변 국가들 사이의 정치적 갈등을 야기한다.

빙권(cryosphere) 및 산악 지역의 물 관리에 대한 지식과 정보의 증진 및 교류, 지역 국가 간 협력 증진, 국가 단위의 물 관리에 대한 역량 강화, 그리고 실행 방안의 수립과 이행을 위한 핵심 이해관계자들의 적극적인 참여와 인식 제고가 요구된다.

라틴아메리카 및 카리브해 지역

라틴 아메리카와 카리브해 지역에서 산지는 전체 면적의 약 3분의 1을 차지하며, 이곳 산지에서는 다른 대륙보다 단위 면적당 더 많은 하천유량이 발생한다. 하지만 많은 지역에 걸쳐 빙하는 전반적으로 그 부피가 현저히 줄어들고 있으며, 이미 일부 지역들에서는 빙하가 완전히 소실되었다.

산악 지역에서 발원하는 물은 커피와 코코아 같은 고가 작물을 생산하는 데에 필수적일 뿐만 아니라 해당 지역에서 수력 발전을 가능하게 하여 하류의 도시와 소도시, 산악의 오지 마을에도 에너지를 공급한다.

•••
고산 빙하가
심각할 정도로
빠르게
소실되고 있다

라틴 아메리카와 카리브해의 산악 지역은 기후변화와 인간 활동의 영향을 갈수록 더 크게 받고 있다. 안데스산맥 고지대에 위치한 국가에서는 물과 관련된 사회적 갈등이 발생하고 있는데, 이러한 갈등의 주요 원인은 하류 지역 주민들의 물 이용에 악영향을 초래하는 광산 채굴이다.

여러 국가에서는 중요한 생태계 보호를 위한 정책과 법률을 제정하여 대응하고 있으나, 이미 일부 생태계는 훼손에 대한 임계치를 초과하여 자연 회복이 어려운 상황에 처해 있다. 따라서 산림 복원과 같은 자연기반해법을 비롯한 새로운 농업 기술 도입, 집수 시설의 확충 같은 기후변화에 대한 적응 방안을 활성화하는 것이 중요하다. 이러한 방안들을 효과적으로 추진하기 위해서는 목적이 뚜렷한 재원 확보, 철저한 감시 체계 구축, 역량 강화 및 포용적 거버넌스 구축이 필요하다. 이를 통해 각 산악 지역의 특성에 맞는 최적의 실행 방안을 적용하기 위해서는 지역 공동체의 참여를 유도하고 의견 수렴을 독려해야 한다.

아시아·태평양 지역

아시아-태평양 지역은 세계 최고봉과 광활한 빙하시스템을 보유하고 있으며, 남극과 북극 다음으로 지구상에서 가장 많은 눈과 얼음이 쌓여있어 ‘제3극(Third Pole)’이라고도 불린다. 이곳은 중앙아시아, 동북아시아, 남아시아, 동남아시아 등에 걸쳐 있는 강들(10개 이상)의 발원지이며, 이곳에 사는 약 20억 명의 삶을 지탱하는 데 필수적인 역할을 한다. 제3극은 세계에서 생물다양성이 매우 풍부한 곳 중 하나이면서도 동시에 생태적으로 매우 취약한 지역이며, 다양한 문화의 보고이기도 하다.

이 지역에서는 고산 빙하가 심각할 정도로 빠르게 소실되고 있으며, 많은 경우 전 세계 평균 소실 속도를 웃돌고 있다. 장기적으로 하천유량 감소와 가뭄 발생 증가로 인해 힌두 쿠시 히말라야(Hindu Kush Himalaya) 지역의 식량, 물, 에너지 및 생계 안보가 위험에 처할 것으로 예상된다.

에너지 사용, 환경 훼손 및 인간 활동은 제3극에서 증가 추세를 보이는 블랙 카본, 증금속 및 잔류성 오염 물질들을 동반하며 또 다른 방식으로 환경 위험을 초래하고 있다.

● ● ●
고산 지역의
관측 설비를
확충할 필요가 있다

이러한 환경 변화에 영향을 받는 다양한 이해관계자와 관련 분야의 참여를 기반으로 한 협력이 필수적이다. 융빙과 물 관련 위기는 적응 방안 강화책, 통합물관리(IWRM), 기후·자연·오염 문제 해결을 위해 시너지를 낼 수 있는 해결책을 통해 대응해야 하며, 이를 위해 국경을 초월한 협력, 지역 국가들 간 대화, 애드보커시(advocacy, 자발적 지지나 행동) 및 인식 제고가 뒷받침되어야 한다.

아랍 지역

아랍 지역의 산지는 수자원 공급 및 다양한 생태계 서비스 제공에 중요한 역할을 수행함에도 그 중요성이 제대로 인식되지 못하는 경우가 많다. 이 지역은 관광, 농업, 산업 활동의 중심지로서 지역사회가 경제적으로 번성하고 있으나, 다른 한편으로는 현재 의존하고 있는 담수 자원이 점점 고갈되는 상황이기 때문에, 1인당 재생 가능한 수자원(renewable water)도 함께 줄어드는 상황에 처해 있다.

융빙수(meltwater)는 특히 강수량이 부족한 여름철 농작물의 생장을 유지하는데 매우 중요한 역할을 한다. 아랍 지역의 일부 지하수를 사용하는 우물은 주로 융설수(snow-melt)가 주된 수원이다. 레바논 산지와 아틀라스 산지(Mount Lebanon and the Atlas Mountains)에서는 계절적으로 발생하는 강설량과 전반적인 강수량 모두가 감소하여 적설 기간과 적설량, 그에 따른 물 이용성이 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이렇게 예상되는 적설량 감소는 물 공급 전반에 있어서 감소로 이어질 것으로 보이며, 특히 농업용수가 필요한 건기에는 물 부족 현상이 심화될 것으로 전망된다. 장기적으로 볼 때, 이러한 물 부족 현상은 식수, 위생 및 보건(WASH) 서비스에도 영향을 미칠 것으로 보인다.

인공 지하수 함양은 실행 가능한 기후변화 적응 대책 중 하나이다.

겨울철의 물 확보(water harvesting, 물 수확)는 아랍 지역 산악지대에서 기후변화의 영향으로 인하여 적설량(snowpack)이 감소하기 때문에, 여름철을 대비하여 물 부족 문제를 완화하는데 도움이 될 수 있다.

지식 및 역량 강화

산악 지역에서의 기후, 지형, 지질, 식생의 높은 변동성은 육상에서 발생하는 물의 이동 자체에 영향을 주기 때문에, 대표할 만한 수문기상 네트워크와 탄탄한 정보 시스템 구축이 무엇보다도 선행되어야 한다.

산지 내의 빙권(cryosphere)에 대한 모니터링 조사가 부족하다는 점은 빙하수문학적(hydroglaciological) 예측이 불확실함을 의미하며, 이는 곧 수자원 관리 부실 위험이 증가함을 의미한다. 빙하권역의 변화를 파악하고 기후변화 영향에 대한 완화 및 적응 대책의 지속가능성을 향상시키기 위해서는 고산 지역의 관측 설비를 확충하고 이에 대한 조사자료도 공개(공유)할 필요가 있다.

사전 정보를 바탕으로 한 동의(사전통보승인, prior informed consent)에 기반한 원주민들과 지역사회의 참여 및 의미 있는 협력, 그리고 세대를 거듭하며 축적된 수자원 관리 방식을 배우고자 하는 노력은 산지 내 빙권의 변화와 이에 따른 하류의 수문학적 환경변화에 대한 종합적 대처 능력을 향상시킬 것으로 보인다.

제도적 역량은 다양한 사람과 여러 가지 관점을 통합하는 데 시간과 자원이 얼마나 필요한가에 따라 평가될 수 있다. 종합적 거버넌스 모델은 장기적으로 볼 때 사회 전체에 결국 이익이 되지만, 현재 시점의 이익에서는 바람직한 방법이 아닐 수도 있으므로 이해득실을 잘 따져보아야 한다.

시민 과학 프로젝트에 참여하면 지역 환경에 대한 시민들의 관심을 높이고 과학에 대한 이해도 (scientific literacy)를 증진하며, 나아가 과학 분야의 진로를 탐색하는 데에도 유용하다. 일반적으로 시민 과학 프로젝트의 경우, 연구자가 방법론과 교육, 훈련 프로그램을 개발하는 방식으로 진행되는 경우가 대부분이다. 하지만 이러한 과정에서 지역 주민들은 프로젝트의 방향에 대한 의견을 개진하여 연구 결과가 지역사회의 필요에 부합하도록 해야 하는 것이 연구 기관과 지역사회 간의 올바른 협력이라고 할 수 있을 것이다.

거버넌스와 재정

•••
어떠한 경우에는
물, 농업, 산업 및
에너지와 관련한
국가 정책들이
인구가 밀집한
하류 지역에 대한
편익을 극대화하는
방향으로 수립된다

산지의 물 거버넌스 역할은 통합물관리(IWRM) 등 다수의 연구가 이루어진 저지대에 비해 상대적으로 주목받지 못했다.

국가 간의 정책 프레임워크는 산악 지역의 물 거버넌스와 기후 변화 적응을 효과적으로 지원할 수 있는 기반을 마련하며, 이러한 기반을 통해 맺어진 조약과 협약은 산악 지역 수준의 협력과 정책 이행을 촉진하는 타당한 수단으로 여겨진다.

대부분의 대형 하천은 산지에서 발원하여 때로는 국경을 가로지르기도 한다. 산악 지역의 수자원까지 고려하는 '하천 유역 단위'에 기반한 공유 하천 물 거버넌스 (transboundary water governance)는 유역 주변 국가들의 전체 이익에 부합할 수 있다. 유역 거버넌스 협의체를 포함한 지역 국가들 간의 협력은 산악 지역의 기후 변화 적응 노력을 진전시키는 중요한 원동력이다. 하지만 공유하천 물 협정에서 국가 간 이익이 상충하여 발생하는 갈등이라든지, 또는 각 국가의 지역성을 잘 조율하기 위해 운영되는 기관들의 역량 부족이 지역국가들 간의 효과적인 수자원 협력을 가로막는 요인이 되어왔다.

산악 지역의 물 관리는 저마다의 입법, 정책, 전략에 따라 각 국가 내에서 주로 이루어진다. 어떠한 경우에는 물, 농업, 산업 및 에너지와 관련한 국가 정책들이 인구가 밀집한 하류 지역에 대한 편익을 극대화하는 방향으로 수립된다. 이로 인해 산악 지역 고유의 물 문제는 국가 정책에서 충분히 고려되지 못하는 경우가 많으며, 오히려 하류 지역민들을 위한 물을 공급하는 원천으로서만 산악 지역을 바라보는 경향이 있다.

산악 지역의 개발은 험준한 지형과 열악한 접근성, 경제 규모의 한계, 항구나 경제 중심지로부터의 먼 거리, 그리고 낙후된 산업 및 서비스 부문으로 인해 저지대보다 일반적으로 건설비용이 많이 들고 개발난이도가 높다. 교통, 기반 시설, 상품 및 서비스와 관련된 비용은 고도가 높아지고 접근성이 떨어질수록 증가하며, 이러한 요인을 정책 및 재정 계획에서 고려할 필요성이 있다. 또한, 국가나 국제 개발계획 시 산악 지역에 맞는 정책과 프로그램 역시 법이나 재정적으로 뒷받침되어야 한다.

산악 지역에서의 기후 변화 적응 방안을 잘 실현하기 위해서는 기후 적응전략에 대한 재정 및 민간 부문의 참여와 기여가 핵심이다. 산악 지역의 지속 가능한 발전을 위한 기본적인 재원 투자 가능성이 상당함에도 불구하고, 주요 지원 프로그램에 대한 실질적인 접근은 상대적으로 매우 제한적이다. 이는 중요한 대응 수단이 충분히 활용되지 않고 있음을 시사한다. 더 구체적으로 말하자면, 수자원, 농업, 에너지 분야의 계획 수립과 인프라에 대한 투자를 지원하기 위해 혁신적이면서 동시에 수용 가능한 범위 내에서 국제적, 지역적, 국가적, 지역 공동체 차원에 따라 효과적인 재원을 운용해야 한다.

맺음말

산은 수십억 명의 사람들과 셀 수 없이 많은 생태계에 생명을 유지하는 물을 제공한다. 따라서 우리는 ‘지구의 거대한 물기둥이자 저장고(Water Tower)’로서 산이 지속 가능한 발전에 중요한 역할을 하고 있다는 점을 결코 간과해서는 안 된다.

기후변화와 지속 가능하지 않은 인간의 활동으로 말미암아 날로 위협받고, 취약한 자연환경을 보다 깊이 이해하고 보호하기 위한 노력이 절실하다.

그 이유는 ‘산에서 일어나는 일은 결코 산에만 머무르지 않기 때문’이다.

어떤 방식으로든 우리는 모두 산의 영향을 받는 그 아래에 살고 있다는 점을 명심해야 한다.

WWAP 제작 | Richard Connor

이 출판물은 UN-Water를 대표하여 WWAP가 제작하였습니다.

이 출판물의 한국어 번역은 유네스코 물 안보 국제연구교육센터 (i-WSSM)의 소중한 지원으로 제공되었습니다.

표지 일러스트 Davide Bonazzi

디자인 및 구성 Marco Tonsini

© UNESCO and i-WSSM 2025

<https://doi.org/10.54679/SLQW6045>



이 출판물 전반에 걸쳐 사용된 명칭과 자료에 대한 언급은 특정 국가, 영토, 도시, 지역 또는 그 당국의 법적 지위나 국경의 경계에 관한 유네스코의 의견 표현을 의미하지 않습니다. 이 출판물에 표현된 생각과 의견은 저자들의 것으로, 유네스코의 입장과 다를 수 있으며 유네스코는 이에 대해 법적 책임을 지지 않습니다.

저작권 및 상업적 권리에 대한 자세한 내용은 <https://unesco.org/en/wwap>에서 제공되는 보고서를 참조하시기 바랍니다.

UNESCO World Water Assessment Programme
Programme Office for Global Water Assessment
Division of Water Sciences, UNESCO
06134 Colombella, Perugia, Italy

Email: wwap@unesco.org
<https://unesco.org/en/wwap>



재정적 후원을 지원해 주신 이탈리아 정부와
이탈리아 움브리아 지방 정부에 깊은 감사의 말씀을 전합니다.



Regione Umbria

i-WSSM
International Centre for
Water Security and
Sustainable Management
under the auspices of UNESCO
유네스코 물 안보 및 지속가능 관리
국제연구교육센터

